

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-98665

(43)公開日 平成9年(1997)4月15日

| (51)Int.Cl. ⁸ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|--------------------------|-------|--------|---------------|---------|
| A 0 1 G 7/00 | 6 0 1 | | A 0 1 G 7/00 | 6 0 1 A |
| F 2 1 V 33/00 | | | F 2 1 V 33/00 | Z |

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 7 頁)

| | | | |
|-------------|----------------|---------|---|
| (21)出願番号 | 特願平8-178004 | (71)出願人 | 000005968 三菱化学株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目5番2号 |
| (22)出願日 | 平成8年(1996)7月8日 | (72)発明者 | 渡辺 博之 神奈川県横浜市青葉区鴨志田町1000番地 三菱化学株式会社横浜総合研究所内 |
| (31)優先権主張番号 | 特願平7-193313 | (72)発明者 | 田中 史宏 神奈川県横浜市青葉区鴨志田町1000番地 三菱化学株式会社横浜総合研究所内 |
| (32)優先日 | 平7(1995)7月28日 | (72)発明者 | 吉野 徹 茨城県牛久市東猫六町1000番地 三菱化学 株式会社筑波事業所内 |
| (33)優先権主張国 | 日本 (J P) | (74)代理人 | 弁理士 長谷川 曉司 |

(54)【発明の名称】 植物栽培装置

(57)【要約】

【課題】 植物栽培の照明コストや冷房コストなどの電力コストの削減ができ、効率的な植物の光利用、良好な生育ができる。従って、これまで特に電力コスト等が高いことが原因で普及が困難であった植物工場、野菜工場などへの適用が可能となる。

【解決手段】 熱冷媒を用いた強制冷却装置を備えたバネル状の光半導体ユニットからなる光源を、植物栽培面に近接させて設置した植物栽培装置。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 熱冷媒を用いた強制冷却装置を備えたパネル状の光半導体ユニットからなる光源を、植物栽培面に近接させて設置した植物栽培装置。

【請求項2】 請求項1のパネル状の光半導体ユニット光源を重層して設置してなることを特徴とする多段式植物栽培装置。

【請求項3】 略全面が光反射性材料でおおわれたものであることを特徴とする請求項1又は2に記載の植物栽培装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、植物工場、野菜工場、育苗装置など人工光を光源とした植物栽培装置において、水などの冷媒を用いた冷却装置を備え、発光ダイオード、半導体レーザーなど光半導体を光源とするパネル状の照明ユニットを用い、それと植物栽培ボードとをコンパクトに積み重ねることにより、栽培植物を近接照明して栽培するための多段式植物栽培装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】日々の変動の大きい自然条件下で植物を栽培する限り、その環境変動による収量および収穫時期の変動は避けられない。そうした生産プロセスの不確定要因の大きさが、これまでの農業生産の計画性の向上や労働環境の近代化の障害となってきた。近年、こうした自然条件の変動に左右されない農業環境づくりとして、栽培環境の光、温度、湿度、炭酸ガス濃度、照度、水耕液濃度、pHなど植物成長に影響を及ぼすあらゆる条件を制御して農作物や苗などを計画的に生産する植物工場、野菜工場、育苗装置などの実用化が望まれている。植物工場、野菜工場、育苗装置などの植物栽培装置（以後、植物栽培装置という）には、完全人工光型と太陽光併用型のものがあるが、両者とも照明コストや冷房コストなどの電力コストが大きく、現在のところ未だ実用化に至っていない。これらの植物栽培装置ではシステム全体を閉鎖系で稼働する場合が多く、照明電力コストと共に、照明による系内の温度上昇を防ぐための除熱コストの低減が植物栽培装置の実用化のための急務となっている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】従来から用いられてきたメタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプ、白色蛍光灯などを光源とした照明方法では、照明電力および空調電力コストが大きく、生産される野菜、苗などの植物が高価格にならざるを得ず、実用化は困難であった。従って、これら照明、空調電力コストを含めたシステム全体の電力コストの低減が必要であった。

【0004】

【課題を解決するための手段】発光ダイオードを始めと

する光半導体は、植物に必要な波長の光だけを自由に選択できる点で植物照明光源として効率的であるばかりでなく、従来の光源に多量に含まれる赤外線、熱線を全く含まない点で植物栽培光源として非常に有利である。すなわち、従来の光源では、熱線による葉焼け等の障害を避けるため栽培植物近傍からの直接照明は不可能（高価で大きなスペースをとる熱線除去装置が必要）であり、光の利用効率としては不利であった。しかし、光半導体を用いることにより赤外線、熱線を全く含まない光線を用いることができ、植物のごく近傍からの近接照射が可能となり、光源の光を非常に効率良く植物に受光させることが可能となった。

【0005】また、光半導体の発光素子を水などの熱冷媒で効率良く冷却することにより、栽培システム全体の温度管理を非常に低コストで行うことができることが判明した。発光効率の良い光半導体と言えども、投入した電力すべてが光に変換される訳ではない。ただし、光に変換されないエネルギーは、他の光源のように熱線として放出されるのではなく、光半導体の素子自身の温度上昇として放出される。そこで、光半導体素子をアルミニウムやセラミックなど熱伝導率の良い基板に直接設置し、その基盤を冷水や冷風、フロン代替ガス類をはじめとする、ガス系の冷媒などを用いて冷却することにより素子からの発熱を効率良く除き、システム全体の温度コントロールを正確に、かつ、これまでの光源に比べ1/3以下の低電力コストで実現できることを見出した。

【0006】加えて、この冷却方法を用いることにより、光半導体素子を継続して適正な温度で発光させることができ、結果的に素子1個当たりの最大光出力を通常の使用条件の2倍以上に引き上げ、かつ素子の寿命を顕著にのばすことができることが判明した。

【0007】これまで、植物栽培の光源として光半導体利用の可能性を示す報告はあったが（Hort Science, Vol. 26(2), 203-205, (1991) や特願平3-98526）、これらに報告されているような一般的な光源と同様の使用方法では、光半導体の植物栽培光源としての特徴を生かせず、きわだった省電力化、コンパクト化することは不可能であった。発光ダイオード（LED）など光半導体を植物栽培の光源として利用する場合、本技術を用いた植物栽培装置、すなわち、熱冷媒を用いた強制冷却方式で光半導体照明パネルを冷却し、それを用いて植物を近接光照射する方式の多段式植物栽培システムを用いてはじめて、大幅な消費電力の低減と装置のコンパクト化、装置の低価格化が可能であり、本技術は植物工場、野菜工場、苗生産装置等において、低コストで実用的な植物生産システムを構築する上で不可欠のものである。

【0008】次に、装置の概要について説明する。LEDの光照射パネルに関しては、例えば、アルミニウムやセラミックなど熱伝導率の高い材質の基板（1）上に銅箔あるいは銀箔（8）を積層したものをを用い、通常の印刷

配線に従い配線された配線上にLEDチップ(2)を接続し、エポキシ樹脂などの樹脂(4)によりレンズ状に封止したものをを用いることができる。基板の背面は水などの熱冷媒を流してチップの発熱を強制的に冷却できるようにするか、もしくは基板の背面に表面積を大きく取ったフィンなどを設置して放熱率を向上させ、そこに冷風を流すことによって冷却することもできる。また、気化熱を利用したガス冷媒を用いて冷却することも可能である。この際、発光光源の裏面への冷媒の注入部分に圧力がかかるので、必要に応じて発光パネル装置全体を耐圧構造とする。LEDチップの装着面は、植物栽培ボードと向き合うため、樹脂製やガラス板の板(3)などにより、防水防湿処理されることが好ましい。熱冷媒については比熱が高く、常圧で使える水系が好ましく、好ましくは30℃以下の冷媒を用いることが好ましい。使用温度やパネルの材質によって凝固防止剤や防錆剤などの添加剤を加えることができる。基板の背面に冷水を流したり、負圧のかかるガス冷却を流すことが構造的に困難な場合には、より簡単に冷風を流すことによってパネル背面を冷却することもできる。冷風を用いた方法の場合、冷水や冷却ガスを用いる場合と比べ気密性や耐圧性を備える必要性は小さくなるが、冷却効率を上げるために、冷風の流量を大きくしたり、前述のように放熱性を上げるためのフィン構造などを基板の背面に設置する必要がある。冷水や冷風などの冷媒はパネル中をまんべんなく流れ、パネル全体を均一に冷却するように、パネル内に熱冷媒の流路を設けたほうが望ましい。LEDの電源については、栽培する植物の生育に応じて光出力をコントロール出来るようにし、必要であれば種々の栽培環境条件によって出力制御するためのマネジメント用のコンピュータを導入することも可能である。使用する光波長が2種類以上になる場合の出力調節は各々独立してコントロールされる必要がある。本願発明のパネル状の光源は多段式植物装置の光源として特に好適である。

【0009】植物培養装置に関しては種々のシステムを使用可能であるが、計画的で均一な栽培を行うためには培土を用いた栽培に比べ、水耕法を用いた栽培方法の方が有利である。中でも、水耕液を水槽にためて根を浸せきさせる湛液式や、NFT方式、湛液等量交換方式などと比べると、根の呼吸活性を高め、かつ大重量の水槽設備の必要が無いため装置的にコンパクトで、強度的にも有利な噴霧水耕方式が望ましい。

【0010】装置全体のレイアウトに関しては、植物栽培ボードとLED照射パネルを上下方向に積み重ねるよりも、栽培ボードとLEDパネルを交互に立てて設置したほうが、水耕液を均一に噴霧する上、また、装置全体の構造的な強度を確保するうえで有利である。植物栽培ボードとLEDパネルの間隔は、LEDが熱線をほとんど放射しないため、植物体ぎりぎりまで近付けた近接照明が可能であり、装置をコンパクト化することができる。具体的

には、栽培する植物の大きさにもよるが、ユニットと植物栽培面の間が50cm以下、更には30cm以下が好ましく、例えばレタスやサラダナでは、20cm程度で十分である。また、LEDパネルからの放熱がないため、装置をほぼ完全に閉鎖し、発光パネルからの光を装置内にとじこめることが可能である。装置の閉鎖に、白色ボードや反射率の高いステンレス板、アルミ板などの光反射材料を使うことによって、LEDパネルから照射された光が外に漏れたり、壁面に吸収されたりする割合を極端に小さくすることが可能である。その場合、使われる反射材料の光反射率は、70%以上が望ましく、さらに植物生育における有効光量を増加させるためには反射率は90%以上が好ましい。こうした栽培装置を用いることにより、照射光は装置内に封じ込められ、栽培植物の光利用効率を劇的に向上させることができる。

【0011】このように、装置の略全面を光反射性材料で覆う際には、必ずしも気密性を保つ必要はない。又、必要に応じて光合成に要するCO₂供給や空調の為に、その一部に外部と連絡するような開口部を設けてもよい。このような開口部は、光反射性領域の10%以下とするのが好ましい。栽培ボードは、幼苗の植えつけや収穫の為に、スライドさせて装置から出し入れできる事が望ましい。以下に、本発明の内容について具体的な実験例を示すが、本発明の内容は以下の実施例に制限されるものではない。

【0012】

【実施例】図1又は図3に示すような20cm×50cm、厚さ7mmのセラミック板(1)に、DDI型超高輝度LEDチップ(2)(ピーク波長660nm)300個を設置し、セラミック板の裏側を冷却水が流れるように空洞にした水冷式LEDパネルを作製した。セラミック表面に図2に示した配線パターンで直接LEDチップをマウントし、チップ部分をレンズ状にエポキシ樹脂(4)で封止し、ガラス板(3)でカバーした(図3)。セラミック板の空洞部分に冷却水を1.2リットル/分の流速で循環させてチップ発熱による温度上昇を防止した。

【0013】冷却水の温度を5℃～40℃まで変化させ、LEDの順方向電流(IF)を15～105mAまで変化させた場合の光出力(パネル中央から40cm離れた位置で測定)を測定した。結果を図4に示した。セラミック盤を通してチップを冷却することにより、チップを冷却しない場合と比べ、LEDの最高出力を2倍以上に高めることに成功した。また、冷却水を流さない場合には、IFを50mA以上流すと急速にLEDチップの劣化が起ったが、5℃から20℃の冷却水を流すことによって、大電流駆動でのチップの劣化を大幅に防ぐことが出来た。

【0014】(栽培例1)上記で作製した水冷式LEDパネル(5)(一部はセラミックボードの両面にLEDチップをマウントしたパネル(5'))40枚を用い、図5に示した方法でLEDパネルを立て、LEDの発光面

と発光面の間に縦型噴霧水耕装置(10)を有する植物栽培ボード(6)を挟み込む形で設置した。栽培ボードとLED発光面の間を20cmとし、装置の周囲は何も覆わずに外部開放した状態で栽培装置を作製し、リーフレタスの栽培を行った。各パネルに20℃の冷却水を冷却水導入口(7)から1.2リットル/分で循環させ*

ることにより、リーフレタスの栽培環境を約25℃に保持した。24時間連続照明でリーフレタス(品種:レッドファイヤー)を30日間栽培した結果を表1に示した。

【0015】

【表1】

表1 水冷LEDパネルでのリーフレタスの生育

| 測定項目 | |
|---------------------------|---|
| LED順方向電流(If) | 50 mA |
| 光合成有効量子束密度 (栽培ボード上で測定) | 162 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ |
| レタス葉面温度 | 25 °C |
| レタス株数 | 360 株 |
| レタス地上部新鮮重 | 52.7 \pm 3.2 g/株 |
| レタス草丈 | 30.8 \pm 5.8 cm |
| 根部乾重 | 219 \pm 59 mg/株 |

栽培室は反射材を設置せず、開放系で栽培した。

【0016】LEDの代わりに、栽培ボード1段につき40Wの蛍光灯8本を用いて同様の栽培を試みたが、葉焼け及び芽の生長点が焼けてしまい、全般的に生育障害が生じてしまった。

【0017】(栽培例2)上記で作製した水冷式LEDパネル(5)(一部はセラミックボードの両面にLEDチップをマウントしたパネル(5'))40枚を用い、図5に示した方法でLEDパネルを立て、LEDの発光面と発光面の間に縦型噴霧水耕装置(10)を有する植物栽培ボード(6)を挟み込む形で設置した。栽培ボードとLEDパネルの間隔の周囲を白色アクリル板(反射率90%)で閉鎖した(図5では省略する)。各パネルに20℃の冷却水を冷却水導入口(7)から1.2リットル/分で循環させることにより、リーフレタスの栽培環境を約25℃に保持した。24時間連続照明でリーフレタス(品種:レッド

20×ドファイヤー)を30日間栽培した結果を表2に示した。LED投入電力、冷房電力、収穫物の株重を、冷却水をクーラーキュレーターで冷却した場合と冷却水を流さないで空調機によって温度コントロールした場合とで比較した。その結果、LED水冷パネルによる温度コントロールに必要な電力はエアコンを用いて実験装置全体を冷房する場合に比べ、約1/3に減少した。照明電力を加えた消費電力の合計で比べても、約3割の電力節減が達成された。更に、LEDパネルを循環水で冷却しなかった場合、LEDチップの昇温による出力不足のため、リーフレタス株の生育不良が認められた。同様の実験をサラダナ(品種:オカヤマサラダナ)とホウレンソウ(品種:丸粒トウカイホウレンソウ)で行なったところ、リーフレタスとはほぼ同様の結果が得られた。

【0018】

【表2】

表2 水冷式LEDパネル光源を用いたリーフレタスの栽培条件及び消費電力

| 冷却方法 | LED投入電力 (W) | 冷房電力 (W) | レタス株 数(個) | 株重 (g/個) |
|----------|----------------|-------------|--------------|--------------|
| 循環冷却水 *1 | 2160 | 450 | 360 | 108 \pm 11 |
| 空調 *2 | 2300 | 1450 | 360 | 68 \pm 10 |

*1) 循環冷却水をクーラーキュレーター(ヤマト科学「BC55」)で冷却

*2) 栽培装置をエアコン(三菱重工「SRK1853JNDH」型)で空調

【0019】(栽培例3)上記栽培例2と同様の装置を用いて、植物栽培ボードとLEDパネルの間隔を20cmから60cmまで3段階に変えてリーフレタス(品種:レッドファイヤー)の生育を比較した。20℃の冷却水を用いてLEDパネルを冷却し、栽培30日後の草丈およ

び地上部新鮮重を表2に示した。その結果、パネル距離60cmに比べ20cmでは地上部重が、約2倍になっており、かつLEDパネルに接触していた葉先にも葉焼け症状は一切認められなかった。以上の結果から、LEDパネルのと植物栽培ボードとの間隔は、植物体のサイズに

あわせて可能なかぎり接近させて設計することが望ましく、且つこうした近接照射による植物生育促進効果は非常に顕著であることが判明した。

*

表3 LED水冷パネルによる近接照射法のリーフレタス生育促進効果

| LED光源パネルと植物栽培ボードとの距離 | 草丈 (cm) | 地上部新鮮重 (g/本) |
|----------------------|-------------|--------------|
| 20 cm | 21.3 ± 3.5 | 110 ± 8 |
| 40 cm | 25.5 ± 8.1 | 92 ± 5 |
| 60 cm | 32.8 ± 11.0 | 52 ± 3 |

【0021】(栽培例4) 上記と同様の装置を用いて、植物栽培ボードとLEDパネルの間隔を20 cmとし、その周囲を、白色アクリル板で閉鎖したもの、アルミ光沢板で閉鎖したもの、灰色アクリル板で閉鎖したもの、閉鎖せずに照射光が外に漏れる状態で栽培したもの(蛍光灯、白熱灯など通常の光源を用いた栽培では栽培室の温度上昇を防ぐため、このような通気性の良い栽培室での栽培が基本である)の4条件で栽培を比較した。LED

※た。栽培室を反射率の良い素材で閉鎖することにより、栽培ボード上の光合成有効量子束密度は飛躍的に増加した。次に、LEDの順方向電流を50 mAに保ち、各々の栽培条件でレタスの栽培を試みた。24時間照明で30日間、リーフレタス(品種レッドファイヤー)を栽培した結果を表4に示した。栽培室を光反射率の良いボードで閉鎖することにより、リーフレタスの生育は約2.1倍に増加した。また、栽培中に閉鎖した栽培室内の温度上昇は観察されなかった。

【0022】まず、栽培を開始する前に、上記4条件で、栽培ボード上の光量を比較した。結果を図6に示し※

【0023】

【表4】

表4 栽培室の壁材によるリーフレタスの生育の変化

| 反射率 | 壁材の種類 | 草丈 (cm) | 地上部新鮮重 (g/株) |
|-----|----------|------------|--------------|
| 90% | 白色アクリル板 | 21.5 ± 3.8 | 112.7 ± 6.9 |
| 85% | アルミ光沢板 | 22.9 ± 4.2 | 109.7 ± 7.8 |
| 70% | 灰色アクリル板 | 24.9 ± 4.8 | 77.7 ± 5.5 |
| | 非閉鎖(開放系) | 30.8 ± 5.8 | 52.7 ± 3.2 |

【0024】

【発明の効果】LEDなど光半導体素子をセラミックなど熱伝導率の良い基板に直接設置し、その基盤を水を用いて冷却することにより素子からの発熱を効率良く除き、システム全体の温度コントロールを正確に、かつ、これまでの光源に比べ1/3以下の低電力コストで実現できることを見い出した。加えて、この冷却方法を用いることにより、光半導体素子を継続して適正な温度で発光させることができ、結果的に素子1個当りの最大光出力を通常の使用条件の2倍以上に引き上げ、かつ素子の寿命を顕著にのばすことができることが判明した。

【0025】さらに、こうした構造を備えた植物栽培装置は、植物に対して近接照明が可能であり、栽培ユニットを重ねることによって、装置全体のコンパクト化を計ることが可能である。また、光半導体素子からの熱放射がないことを利用して、栽培室を反射率の高い素材で覆うことも可能である。これらのユニークな構造は、裁

(栽培日数30日 平均値±標準偏差)

培室の有効光量の著しい増加をもたらし、栽培植物の光利用効率の向上、良好で効率的な生育、栽培ランニングコストの節減に大きく寄与し、そして、栽培植物の良好な生育および装置の温度制御電力費の節減に寄与している。以上の効果により、これまで特にランニング電力コストが高いことが原因で普及が困難であった植物工場、野菜工場、苗生産装置のランニングコストを大きく減少させ、実用化に適した植物栽培装置を提供することが可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の光照射パネルの一例

【図2】 本発明の光照射パネルの配線例

【図3】 本発明の光照射パネルの一例を示す部分図

【図4】 本発明の冷却水の効果を示すグラフ

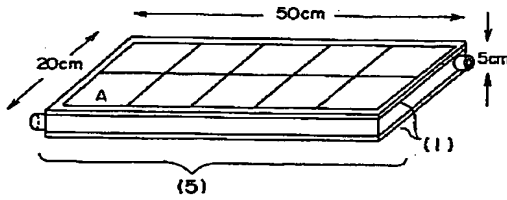
【図5】 本発明の植物栽培装置の一例

【図6】 本発明の栽培室の壁材による栽培ボード上の光量変化を示すグラフ

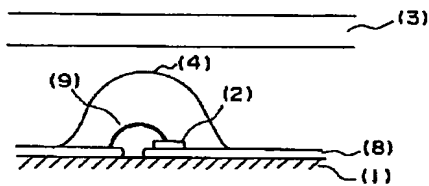
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 LEDチップ
- 3 ガラス板
- 4 エポキシ樹脂
- 5 パネル

【図1】



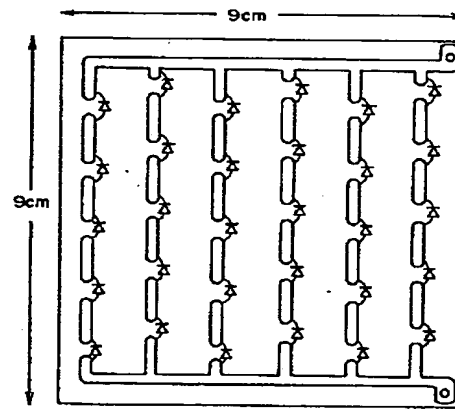
【図3】



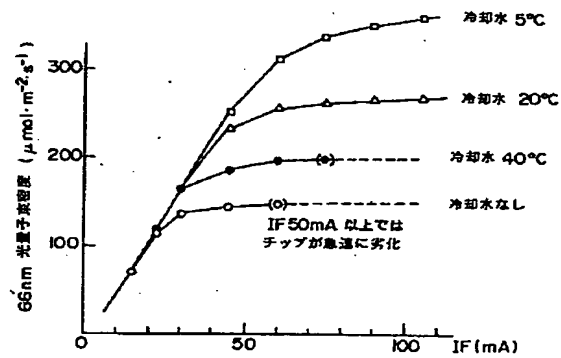
- * 6 植物栽培ボード
- 7 冷却水導入口
- 8 銀箔
- 9 金ワイヤボンディング
- 10 縦型噴霧水耕装置

*

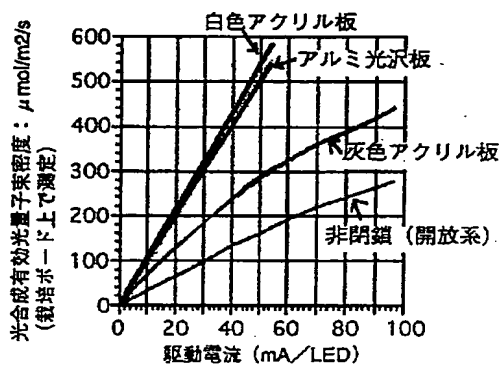
【図2】



【図4】



【図6】



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
【部門区分】第1部門第1区分
【発行日】平成14年7月16日(2002.7.16)

【公開番号】特開平9-98665

【公開日】平成9年4月15日(1997.4.15)

【年通号数】公開特許公報9-987

【出願番号】特願平8-178004

【国際特許分類第7版】

A01G 7/00 601

F21V 33/00

【F I】

A01G 7/00 601 A

F21V 33/00 Z

【手続補正書】

【提出日】平成14年4月17日(2002.4.17)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 熱冷媒を用いた強制冷却装置を背面に備えたパネル状の光半導体ユニットからなる光源を重層して、植物栽培面に近接させて設置した植物栽培装置。

【請求項2】 略全面が光反射性材料でおおわれたものであることを特徴とする請求項1に記載の植物栽培装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

【補正内容】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、植物工場、野菜工場、育苗装置など人工光を光源とした植物栽培装置において、水などの冷媒を用いた冷却装置を背面に備え、発光ダイオード、半導体レーザーなど光半導体を光源とするパネル状の照明ユニットを用い、それと植物栽培ボ-

ードとをコンパクトに積み重ねることにより、栽培植物を近接照明して栽培するための多段式植物栽培装置に関するものである。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正内容】

【0007】これまで、植物栽培の光源として光半導体利用の可能性を示す報告はあったが(Hort Science, Vol.26(2), 203-205, (1991)や特願平3-98526)、これらに報告されているような一般的な光源と同様の使用方法では、光半導体の植物栽培光源としての特徴を生かせず、きわだった省電力化、コンパクト化することは不可能であった。発光ダイオード(LED)など光半導体を植物栽培の光源として利用する場合、本技術を用いた植物栽培装置、すなわち、熱冷媒を用いた強制冷却方式で光半導体照明パネルを背面から冷却し、それを用いて植物を近接光照射する方式の多段式植物栽培システムを用いてはじめて、大幅な消費電力の低減と装置のコンパクト化、装置の低価格化が可能であり、本技術は植物工場、野菜工場、苗生産装置等において、低コストで実用的な植物生産システムを構築する上で不可欠のものである。